

УДК 624.138.29

<https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.056>© В.В. Бойко<sup>1</sup>, О.В. Ган<sup>1</sup>, В.Г. Кравець<sup>2</sup>, А.Л. Ган<sup>2</sup><sup>1</sup> Інститут гідромеханіки НАН України, Київ, Україна<sup>2</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПІНЕНИХ ВИБУХОВИХ КОМПОЗИЦІЙ

© V. Boiko<sup>1</sup>, O. Han<sup>1</sup>, V. Kravets<sup>2</sup>, A. Han<sup>2</sup><sup>1</sup> Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine<sup>2</sup> National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

## THE INFLUENCE OF ULTRASONIC RADIATION ON THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF FOAMED EXPLOSIVE COMPOSITIONS

**Мета.** Забезпечення фізичної стабільності спінених вибухових композицій за рахунок дисперсних добавок і ультразвукової обробки аміачної селітри (АС).

**Методика дослідження** полягає у дослідженні впливу ультразвукового випромінювання і дисперсних добавок на спінені вибухові композиції.

**Результати дослідження.** Встановлено добір компонентного складу малоцільних спінених вибухових композицій місцевого приготування на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активних речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри. Визначено фізико-хімічні і динамічні характеристики запропонованих спінених композицій та досліджено вплив на них ультразвукового випромінювання.

**Наукова новизна.** Отримано залежність фізичної стійкості спінених ВР від ультразвукової обробки аміачної селітри (АС) і встановлено, що найбільша фізична стійкість досягається при обробці АС ультразвуком протягом 4 хвилин і становить 2-4 години у відкритій посудині і 1-3 доби – в закритій посудині.

Встановлено вплив ультразвукової обробки АС на динамічні характеристики спінених сумішей який свідчить, що швидкість детонації відкритих зарядів ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням дещо менший ніж після обробки та становить відповідно  $(1,0-2,5) \cdot 10^3$  м/с і  $(1,2-2,6) \cdot 10^3$  м/с. Час наростання тиску в імпульсі до максимуму у досліджених сумішей практично однаковий і складає відповідно  $(40-60) \cdot 10^{-6}$  с для зарядів без обробки АС ультразвуковим випромінюванням і  $(45-65) \cdot 10^{-6}$  с для зарядів після обробки АС ультразвуковим випромінюванням. Тиск на фронті хвилі у спінених ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням на  $(0,05-0,1) \cdot 10^9$  Па вище, ніж у спінених ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням. Швидкість наростання тиску в імпульсі у спінених ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням становить  $(0,09 - 0,21) \cdot 10^{14}$  Па/с, у спінених ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням –  $(0,08 - 0,20) \cdot 10^{14}$  Па/с.

**Практичне значення.** Запропоновано пристрій та спосіб приготування таких спінених вибухових композицій, що включає механічне змішування розчину ПАР, аміачної селітри, гранули якої попередньо оброблені ультразвуком та подрібнено на дробарці з добавкою 3-4% дисперсного алюмінію, яке проводять в низькошвидкісному режимі без спінювання суміші, подачею цієї суспензії під тиском до об'єкта проведення підричних робіт та дозованою аерацією його за рахунок ежекування повітря потоком суміші з прямою видачею спіненої вибухової композиції до місця застосування.

**Ключові слова:** *спінена вибухова композиція, ультразвукова обробка, аміачна селітра, пристрій, дисперсна добавка, поверхнево-активні речовини.*

**Вступ.** Ущільнення просадних нестійких ґрунтів є основним технологічним процесом, і вирішення цього питання та пошук оптимізованих рішень займають значущу роль в будівельній промисловості та військовій справі.

Одним з перспективних напрямків ущільнення просадних нестійких ґрунтів є розробка нових ефективних методів ущільнення з використанням енергії вибуху.

Проста технологія вибухових робіт може забезпечити широке застосування цього методу в практику будівництва при подальшому вдосконаленні параметрів вибухових речовин.

В роботі [1] запропоновано вдосконаліти малощільні вибухові суміші для ущільнення просадних ґрунтів. Але запропонований авторами вибуховий метод ущільнення просадних ґрунтів потребує відповідної механізації щодо приготування водонаповнених спінених вибухових композицій та заповнення під тиском цієї суспензії необхідну площу ущільнення. Крім того, важливим фактором є забезпечення фізичної стабільності ВР такого класу, особливо при ущільненні значної площі, а також забезпечити відповідну продуктивність і рівень безпеки робіт при виготовленні значних об'ємів готового продукту для великих зарядів.

Вдосконалення вибухової технології [2] повинно бути направлено на забезпечення фізичної стабільності і динамічних характеристик спінених вибухових композицій для ефективного використання при ущільненні просадних лесових ґрунтів та розмінуванні мінних полів та створення безпеки проведення безпосередньо самих вибухових робіт. Тому дослідження впливу ультразвукового випромінювання і дисперсних добавок на спінені вибухові композиції є **актуальною** задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У попередніх дослідженнях було запропоновано пристрій для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції та виконано добір компонентного складу спінених вибухових речовин (ВР). Основними перевагами цього способу є створення безпечних умов робіт за рахунок механічного змішування в низькошвидкісному режимі без попереднього спінювання суміші розчину поверхнево-активних речовин (ПАР) і аміачної селітри, подачею цієї суспензії під тиском до об'єкта проведення підривних робіт та дозованою аерацією його за рахунок ежектування повітря потоком суміші з прямою видачею уже спіненої вибухової композиції до місця застосування та можливості забезпечення значних об'ємів готового продукту для великих зарядів за рахунок мобільності даного пристрою [3, 4].

Запропонований добір компонентного складу спінених вибухових композицій місцевого приготування на основі порошкоподібних і рідких ПАР дозволяє керування параметрами вибухового імпульсу шляхом використання ВР регульованої щільності, що в свою чергу, забезпечує можливість їх використання для рівномірного ущільнення просадних лесових ґрунтів на необхідну потужність.

Основним недоліком запропонованих спіnenих ВР є низька фізична стабільність композиту, особливо у відкритому заряді, яка становить 9-24 год. в діапазоні температур від +30 до -10°C, а при зниженні температури до -15°C ця стабільність різко падає, що призводить до руйнування піни. При цьому структура системи руйнується, газові включення укрупнюються, що обумовлює зниження чутливості системи до підривного імпульсу. Це пов'язано з тим, що приготування композиту проводиться шляхом введення піноутворювача у гранульовану, а не подрібнену аміачну селітру, що призводить до зниження детонаційної чутливості та зменшення утримуючої здатності виготовлених водонаповнених спіnenих вибухових композицій.

Також доцільно було б застосувати у складі спіnenих ВР добавки у вигляді дисперсного компоненту, наприклад алюмінію, і цим досягти проникнення рідкої фази у мікротріщини селітри із-за відсутності ефекту розклинювання, що теж може забезпечити підвищення фізичної стабільності піносистеми.

Крім того значного ефекту для забезпечення утримуючої здатності [5] і чутливості системи до підривного імпульсу можна досягти за рахунок попередньої обробки аміачної селітри ультразвуковим випромінюванням [6, 7].

Для керування параметрами вибухового імпульсу спіnenих вибухових композицій **актуальним** є забезпечення фізичної стабільності самої системи, особливо у відкритих зарядах.

**Метою** роботи є забезпечення фізичної стабільності спіnenих композицій за рахунок дисперсних добавок і ультразвукової обробки.

**Виклад основного матеріалу.** Одним з основних параметрів, що характеризує фізичну стабільність водонаповнених спіnenих вибухових композицій на основі аміачної селітри, поверхнево-активних речовин (ПАР) і води є утримуюча здатність аміачної селітри. У роботі [6] встановлено, що обробка аміачної селітри (АС) ультразвуком дозволяє суттєво збільшити її утримуючу здатність. Водночас ці результати мають нелінійний характер. Тобто, на першому етапі при збільшенні часу обробки ультразвуком до 4 хвилин утримуюча здатність АС збільшується і становить максимум. Подальше збільшення часу обробки АС ультразвуком призводить до зменшення її утримуючої здатності. Ця закономірність спостерігається як для пористої, так і для щільної АС.

Компонентний склад і характеристики спіnenих пастоподібних ВР наведені в табл. 1. Як видно з приведених даних, щільність вибухових композицій за рахунок аерації суміші регулюються від 200 до 800 кг/м<sup>3</sup>, критичний діаметр зарядів ВР в жорсткій оболонці становить (30-40)·10<sup>-3</sup>м. Заряди в жорсткій оболонці чутливі до детонатора ЕД-8.

Фізична стабільність аерованої системи в діапазоні температур від +30 до -10°C у відкритій посудині для спіnenих композицій без обробки АС ультразвуковим випромінюванням становить 9-24 год., а після ультразвукового випромінювання АС протягом 4 хвилин знаходиться в межах 11-28 год. Аналогічний приріст фізичної стабільності спостерігається і в закритій посудині: без обробки АС ультразвуковим випромінюванням – 5-8 діб, а після обробки – 6-11 діб. Крім того, на фізичну стабільність спіnenих композицій суттєво впливає алюмінієва

добавка, яка підвищує фізичну стабільність спінених композицій від 14-17 год. до 15-18 год. і від 5-8 діб до 6-8 діб відповідно для аерованих систем у відкритій і в закритій посудині без обробки АС ультразвуковим випромінюванням та від 16-20 год. до 18-24 год. і від 6-10 діб до 7-11 діб відповідно для аерованих систем у відкритій і в закритій посудині після обробки АС ультразвуковим випромінюванням протягом 4 хвилин.

Таблиця 1

## Компонентний склад і характеристики спінених пастоподібних ВР

№ п/п	Компоненти ВР	Вміст компонентів, мас. %				
		Суміш I по а. с. 1436448	Суміш II по а. с. 1531401	Суміш III по а. с. 1561483	Суміш IV по а. с. 1600303	Суміш V по а. с. 1561483
1	Аміачна селітра	92,0-93,3	89,8-92,9	86,5-88,5	90,5-91,5	83,5-84,5
2	Сульфосолі - контакт чорний нейтралізований, рафінований	2,0-4,0	2,0-4,0	—	—	—
3	Рафінований алкіларілсульфонат	1,5-3,5	—	5,0-7,0	5,0-7,0	5,0-7,0
4	Етилендіамін	0,2-0,5	—	—	—	—
5	Алкілсульфати натрію	—	1,0-3,0	—	—	—
6	Контакт Петрова	—	—	1,0-3,0	—	1,0-3,0
7	Карбоксиметилцелюлоза	—	—	0,5-1,5	—	0,5-1,5
8	Алкілсульфати натрію (вторичн.)	—	—	—	1,0-3,0	—
9	Поліакриламід	—	—	—	0,5-1,5	—
10	Вода	1,0-2,0	2,0-5,0	3,0-4,0	—	3,0-4,0
11	Алюмінієва пудра	—	—	—	—	3,0-4,0
Характеристики						
1	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	500-800	500-800	200-350	200-250	300-650
2	Кратність піни	1,8-3,0	1,8-3,0	3,6-4,0	3,6-4,2	3,6-4,0
3	Критичний діаметр, 10 <sup>-3</sup> м					
	- відкритого заряду	50-70	50-80	50-70	60-90	50-70
	- в жорсткій оболонці	30-40	30-40	30-40	30-40	30-40
4	Фізична стабільність в інтервалі температур від +30 до -10°C:					
	— у відкритій посудині, год.	9-10	10-12	14-17	20-24	15-18
	— у закритій посудині, діб	5-7	6-7	5-8	—	6-8
5	Фізична стабільність в інтервалі температур від +30 до -10°C після обробки АС ультразвуком (4 хв.):					
	— у відкритій посудині, год.	11-14	11-15	16-20	23-28	18-24
	— у закритій посудині, діб	6-8	7-9	6-10	—	7-11
6	Теплота вибуху, 10 <sup>3</sup> Дж/кг	3500-3770	3520-3780	3500-3700	3500-3700	3530-3750
7	Мінімальний ініціюючий імпульс					
	- відкритого заряду, кг ТНТ	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,02	0,01-0,03
	- в жорсткій оболонці	ЕД-8	ЕД-8	ЕД-8	ЕД-8	ЕД-8
8	Льодостійкість	не льодостійкі				

Динамічні характеристики спінених сумішей досліджувалися як з обробкою АС ультразвуковим випромінюванням, так і без. При цьому вивчалася детонація

відкритих зарядів діаметром  $(50-90) \cdot 10^{-3}$  м. Бризантність зарядів вивчалася за ГОСТ 5984-80. У всіх випадках досліджувались свіжоприготовлені спінені суміші, так як піносистеми змінюють свої характеристики в часі.

Динамічні характеристики спінених ВР наведені в табл. 2. З наведених даних видно, що швидкість детонації відкритих зарядів ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням становить  $(1,0-2,5) \cdot 10^3$  м/с, а після обробки –  $(1,2-2,6) \cdot 10^3$  м/с. Бризантність спінених сумішей знаходиться в межах –  $(7-11) \cdot 10^{-3}$  м. як для ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням, так і без.

Таблиця 2

## Динамічні характеристики спінених ВР

№ п/п	Найменування ха- рактеристики	Од. вим.	Найменування ВР				
			Суміш І	Суміш ІІ	Суміш ІІІ	Суміш ІV	Суміш V
Без обробки АС ультразвуковим випромінюванням							
1	Швидкість детонації: - відкритий заряд	10 <sup>3</sup> м/с	1,0-2,4	1,0-2,5	—	—	1,0-2,2
	- заряд в жорсткій оболонці		1,1-3,2	1,1-3,0	1,9-2,1	2,0-2,2	2,1-2,3
2	Бризантність в сталь- ному кільці	10 <sup>-3</sup> м	7-11	7-11	7-9	7-8	8-11
3	Час зростання тиску в імпульсі	10 <sup>-6</sup> с	40-50	45-50	50-55	50-60	55-60
4	Тиск на фронті хвилі	10 <sup>9</sup> Па	0,7-0,8	0,7-0,8	0,6-0,7	0,5-0,7	0,6-0,8
5	Швидкість зростання тиску	10 <sup>14</sup> Па/с	0,14-0,20	0,14-0,17	0,11-0,14	0,08-0,14	0,12-0,16
Після ультразвукового випромінювання АС протягом 4 хвилин							
1	Швидкість детонації: - відкритий заряд	10 <sup>3</sup> м/с	1,2-2,4	1,3-2,6	—	—	1,2-2,3
	- заряд в жорсткій оболонці		1,3-3,3	1,2-3,1	1,9-2,2	2,0-2,3	2,2-2,4
2	Бризантність в сталь- ному кільці	10 <sup>-3</sup> м	7-11	7-11	7-9	7-8	8-11
3	Час зростання тиску в імпульсі	10 <sup>-6</sup> с	45-50	45-55	50-55	55-65	55-65
4	Тиск на фронті хвилі	10 <sup>9</sup> Па	0,75-0,85	0,75-0,9	0,65-0,75	0,65-0,7	0,75-0,8
5	Швидкість зростання тиску	10 <sup>14</sup> Па/с	0,16-0,21	0,15-0,17	0,12-0,15	0,09-0,15	0,13-0,17

Час наростання тиску в імпульсі до максимуму у досліджених сумішей близькі і складають відповідно  $(40-60) \cdot 10^{-6}$  с для зарядів без обробки АС ультразвуковим випромінюванням і  $(45-65) \cdot 10^{-6}$  с для зарядів після обробки АС ультразвуковим випромінюванням. Тиск на фронті хвилі у спінених ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням на  $(0,05-0,1) \cdot 10^9$  Па вище, ніж у спінених ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням.

Швидкість наростання тиску в імпульсі у спінених ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням становить  $(0,09 - 0,21) \cdot 10^{14}$  Па/с, у спінених ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням –  $(0,08 - 0,20) \cdot 10^{14}$  Па/с.

Аналіз наведених даних свідчить про те, що попередня обробка АС ультразвуковим випромінюванням значно покращує динамічні характеристики запропонованих спінених ВР.

Дослідження динамічних характеристик спінених ВР змінної щільності показує, що описані вибухові суміші можуть ефективно використовуватися при ущільненні просадних лесових ґрунтів та розмінуванні мінних полів.

Запропоновано спосіб приготування таких спінених вибухових композицій, що включає механічне змішування розчину ПАР, аміачної селітри, гранули якої попередньо оброблені ультразвуком та подрібнено на дробарці з добавкою 3-4% дисперсного алюмінію, яке проводять в низькошвидкісному режимі без спінування суміші, подачею цієї суспензії під тиском до об'єкта проведення підривних робіт та дозованою аерацією його за рахунок ежектування повітря потоком суміші з прямою видачею спіненої вибухової композиції до місця застосування.

Для приготування таких спінених вибухових композицій запропоновано пристрій (рис. 1), що включає в себе: бункер 1 і дробарку для подрібнення гранульованої аміачної селітри 2, ємність ПАР 3, ємність води 4, ємність з алюмінієвою пудрою 5, ємність водного розчину ПАР 6, низькообертовий механічний змішувач 7, накопичувальну ємність суспензії 8, насос 9, сопло 10, ежектор 11, вентиль-дозатор повітря 12, пінний ствол 13.

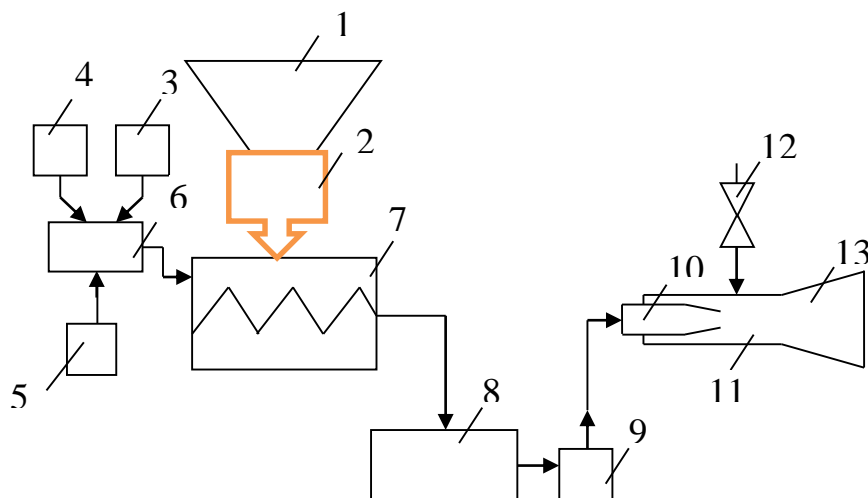


Рис. 1. Загальний вигляд пристрою для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції: 1 – бункер аміачної селітри, 2 – дробарка для подрібнення гранульованої аміачної селітри, 3 – ємність ПАР, 4 – ємність води, 5 – ємність з алюмінієвою пудрою, 6 – ємність водного розчину ПАР, 7 – низькообертовий механічний змішувач, 8 – накопичувальна ємність суспензії, 9 – насос, 10 – сопло, 11 – ежектор, 12 – вентиль-дозатор повітря, 13 – пінний ствол

Пристрій працює наступним чином. Гранульована аміачна селітра попередньо оброблена ультразвуком з бункера 1 і дробарки 2 надходить в змішувач 7, в який дозується розчин ПАР з ємності 6 та алюмінієва пудра з ємності 5. Готова

суспензія надходить у накопичувальну ємність 8. Насосом 9 суспензія при необхідності подається під тиском в сопло 10. Швидкісний потік суспензії надходить в ежектор 11 і засмоктує повітря, що надходить з атмосфери через вентиль-дозатор 12. Потік аерується, тобто насичується високодисперсними бульбашками повітря. Отримана піносуспензія надходить у пінний ствол 13 і вже, як спінена вибухова композиція, подається безпосередньо до місця ведення вибухових робіт.

За рахунок попередньої обробки АС ультразвуковим випромінюванням та добавкою 3-4% дисперсного алюмінію можна досягти значної фізичної стабільності та покращити динамічні характеристики запропонованих спінених вибухових композицій.

За допомогою запропонованого пристрою забезпечується значна безпека проведення безпосередньо самих вибухових робіт, оскільки не спінена суміш розчину ПАР і аміачної селітри не чутлива до удару і тертя, а вибухові властивості цієї суспензії проявляються тільки після насичення суміші бульбашками повітря при виході потоку піносуспензії з ежектора.

Крім того, ежекторний прямоточний метод дозволяє виробляти значні об'єми спіненого вибухового композиту.

#### **Висновки:**

1. Встановлено вплив ультразвукового випромінювання на запропоновані спінені вибухові композиції місцевого приготування на основі рідких ПАР.

2. Отримано підвищення фізичної стабільності спінених вибухових композицій в діапазоні температур від +30 до -10°C за рахунок обробки АС ультразвуковим випромінюванням протягом 4 хвилин, що становить 2-4 години у відкритій посудині і 1-3 доби – в закритій посудині. Алюмінієва добавка підвищує фізичну стабільність спінених композицій від 14-17 год. до 15-18 год. і від 5-8 діб до 6-8 діб відповідно для аерованих систем у відкритій і в закритій посудині без обробки АС ультразвуковим випромінюванням та від 16-20 год. до 18-24 год. і від 6-10 діб до 7-11 діб відповідно для аерованих систем у відкритій і в закритій посудині після обробки АС ультразвуковим випромінюванням протягом 4 хвилин.

3. Досліджено динамічні характеристики спінених сумішей як з обробкою АС ультразвуковим випромінюванням, так і без. Встановлено, що швидкість детонації відкритих зарядів ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням становить  $(1,0-2,5) \cdot 10^3$  м/с, а після обробки –  $(1,2-2,6) \cdot 10^3$  м/с. Бризантність спінених сумішей знаходиться в межах  $(7-11) \cdot 10^{-3}$  м. як для ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням, так і без.

4. Час наростання тиску в імпульсі до максимуму у досліджених сумішей близькі і складають відповідно  $(40-60) \cdot 10^{-6}$  с для зарядів без обробки АС ультразвуковим випромінюванням і  $(45-65) \cdot 10^{-6}$  с для зарядів після обробки АС ультразвуковим випромінюванням. Тиск на фронті хвилі у спінених ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням на  $(0,05-0,1) \cdot 10^9$  Па вище, ніж у спінених ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням.

5. Швидкість наростання тиску в імпульсі у спінених ВР після обробки АС ультразвуковим випромінюванням становить  $(0,09 - 0,21) \cdot 10^{14} \text{Па/с}$ , у спінених ВР без обробки АС ультразвуковим випромінюванням –  $(0,08 - 0,20) \cdot 10^{14} \text{Па/с}$ .

6. Встановлено, що попередня обробка АС ультразвуковим випромінюванням значно покращує динамічні характеристики запропонованих спінених ВР, а самі динамічні характеристики свідчать про те, що самі вибухові композиції такого класу можуть ефективно використовуватися при ущільненні просадних лесових ґрунтів та розмінуванні мінних полів.

7. Запропоновано пристрій та спосіб приготування таких спінених вибухових композицій, що включає механічне змішування розчину ПАР, аміачної селітри, гранули якої попередньо оброблені ультразвуком та подрібнено на дробарці з добавкою 3-4% дисперсного алюмінію, яке проводять в низькошвидкісному режимі без спінювання суміші, подачею цієї суспензії під тиском до об'єкта проведення підривних робіт та дозованою аерацією його за рахунок ежекування повітря потоком суміші з прямоточною видачею спіненої вибухової композиції до місця застосування.

#### Перелік посилань

1. Бойко, В.В., Ган, А.Л., & Ган, О.В. (2018) Ущільнення просадкових ґрунтів вдосконаленими зарядами малої щільності. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 55, 152-162 Retrived from <http://znp.nmu.org.ua/pdf/2018/55/17.pdf>
2. Shakeran, M., & Eslami, A. (2016, November) Geotechnical Aspects of Explosive Compaction. *Shock and Vibration*, 2, 1-14. doi.org:10.1155/2016/6719271
3. Бойко, В.В., Приходько, Ю.П., Гончар, В.К., Золотухін, К.С., Орлов, Ю.Ю., Плужник, В.І., & Ган, О.В (2018) Пристрій для приготування водонаповненої вспіненої вибухової композиції. *Патент на корисну модель UA № 122425, МПК: E21C 37/00*. Україна.
4. Купрін, В.П., Купрін, О.В., Іщенко, М.І., Савченко, М.В., & Коваленко, І.Л. (2016) Спосіб виготовлення гранульованих вибухових сумішей для пневматичного заряджання із аміачної селітри і рідкого палива. *Пат. 106118 Україна, МПК C06B31/28, F42D3/04. № u 2015 13112, Бюл. № 7*. Україна
5. Игнатъева, С.Ю., Базотов, В.Я., Мадякин, В.Ф., Пальцев, А.В., Захаров, Д.А., & Хасанов, Т.Р (2016) Изучение удерживающей способности аммиачной селитрой дизельного топлива. *Вестник технологического университета*, 5. 52–55.
6. Васильчук, О.С., Вапнічна, В.В., & Ган, А.Л. (2018) Вплив ультразвукового опромінення на утримуючу здатність аміачної селітри. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, 1 (81), 217-222 doi.org:10.26642/tn-2018-1(81)-217-222
7. Ган, О.В., Бойко, В.В., Ган, А.Л., Кравець, В.Г., & Вапнічна, В.В. (2019, Травень) Зміна пористості та утримуючої здатності аміачної селітри під впливом ультразвукового опромінення. *II міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики»*. Retrived from <https://geobud.kpi.ua/conference/problemygeoinzhenerii2/772>

#### АННОТАЦІЯ

**Цель.** Обеспечение физической стабильности вспененных взрывчатых композиции за счет дисперсных добавок и ультразвуковой обработки аммиачной селитры (АС).



**Методика исследования** заключается в исследовании влияния ультразвукового излучения и дисперсных добавок на вспененные взрывные композиции.

**Результаты исследования.** Установлен вид компонентного состава малоплотных вспененных взрывчатых композиций местного приготовления на основе аммиачной селитры (АС), раствора поверхностно-активных вещества (ПАВ) и алюминиевой пудры. Определены физико-химические и динамические характеристики предложенных вспененных композиций и исследовано влияние на них ультразвукового излучения.

**Научная новизна.** Получена зависимость физической устойчивости вспененных ВВ при воздействии ультразвуковой обработки аммиачной селитры (АС) и установлено, что наибольшая физическая устойчивость достигается при обработке АС ультразвуком в течение 4 минут и составляет 2-4 часа в открытой посуде и 1-3 суток в закрытом сосуде.

Установлено влияние ультразвуковой обработки АС на динамические характеристики вспененных смесей, которое свидетельствует, что скорость детонации открытых зарядов не обработанной АС ультразвуковым излучением несколько меньше, чем после обработки и находится в пределах  $(1,0-2,5) \cdot 10^3$  м/с и  $(1, 2-2,6) \cdot 10^3$  м/с соответственно. Время нарастания давления в импульсе до максимума, в исследуемых смесях, практически одинаково и составляет соответственно  $(40-60) \cdot 10^{-6}$  с для зарядов не обработанной АС ультразвуковым излучением и  $(45-65) \cdot 10^{-6}$  с для зарядов после обработки АС ультразвуковым излучением. Давление на фронте волны вспененных ВВ после обработки АС ультразвуковым излучением на  $(0,05-0,1) \cdot 10^9$  Па выше, чем в вспененных ВВ без обработки АС ультразвуковым излучением. Скорость нарастания давления в импульсе в вспененных ВВ после обработки АС ультразвуковым излучением составляет  $(0,09 - 0,21) \cdot 10^{14}$  Па/с, в вспененных ВВ без обработки АС ультразвуковым излучением -  $(0,08 - 0,20) \cdot 10^{14}$  Па/с.

**Практическое значение.** Предложено устройство и способ приготовления вспененных взрывчатых композиций, который основан на механическом смешивании раствора ПАВ и аммиачной селитры в низкоскоростном режиме без вспенивания смеси. Гранулы АС предварительно обработаны ультразвуком и раздроблены на дробилке с добавлением 3-4% дисперсного алюминия. Далее производится подача этой суспензии под давлением к объекту проведения взрывных работ и дозированной аэрацией его за счет эжектирования потоком воздуха смеси с прямоточной выдачей вспененной взрывной композиции к месту применения.

**Ключевые слова:** вспененная взрывчатая композиция, ультразвуковая обработка, аммиачная селитра, устройство, дисперсная добавка, поверхностно-активные вещества.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Ensuring the physical stability of foamed explosive compositions due to dispersed additives and processed by ammonium nitrate (AN) by ultrasonic radiation.

**The methodology** of research consists in studying the effect of ultrasonic radiation and dispersed additives on foamed explosive compositions.

**Findings.** The type of component composition of low-density foamed explosive compositions of local preparation based on ammonium nitrate (AN), a solution of surface-active substances (surfactants) and aluminum powder is established. The physicochemical and dynamic characteristics of the proposed foamed compositions are determined and the effect of ultrasonic radiation on them is investigated.

**The originality** is that the dependence of the physical stability of the foamed explosive under the influence of ultrasonic treatment with ammonium nitrate was obtained and it was found that the greatest physical stability is achieved when the AN is treated with ultrasound for 4 minutes and is 2-4 hours in an open container and 1-3 days in a closed container.

The influence of ultrasonic treatment AN on the dynamic characteristics of foamed mixtures is established. It was found that the detonation velocity of open charges not processed by AN by ultrasonic radiation is slightly lower than after processing and is accordingly  $(1.0-2.5) \cdot 10^3$  m/s and  $(1, 2-2.6) \cdot 10^3$  m/s. The time of pressure rise in the pulse to the maximum in the studied mixtures is almost the same and is accordingly  $(40-60) \cdot 10^{-6}$  s for charges not treated with AN ultrasonic radiation and  $(45-65) \cdot 10^{-6}$  s for charges after processing AN with ultrasonic radiation. The pressure at the front of the wave of foamed explosives after treating AN with ultrasonic radiation is  $(0.05-0.1) \cdot 10^9$  Pa higher than in foamed explosives without treating AN with ultrasonic radiation. The rate of increase in pulse pressure in foamed explosives after processing with AN by ultrasonic radiation is  $(0.09 - 0.21) \cdot 10^{14}$  Pa/s, in foamed explosives without treating with AN by ultrasonic radiation -  $(0.08 - 0.20) \cdot 10^{14}$  Pa/s.

**Practical implications.** Proposal of a device and method for preparing foamed explosive compositions. The mechanical mixing of a solution of surfactant, ammonium nitrate in a low speed mode without foaming the mixture. AN pellets are pre-sonicated and crushed on a crusher with the addition of 3-4% dispersed aluminum. Further, this suspension is supplied under pressure to the place of blasting and dosed aeration due to entrainment air ejection by the mixture flow with direct-flow delivery of the foamed explosive composition to the place of use.

**Keywords:** *foamed explosive composition, ultrasonic treatment, ammonium nitrate, device, dispersed additive, surfactants.*